

软 盘 编 号

密 别

阶 段  
标 记

S

CAD

KT-EX9-2

多自由度惯性测量单元

EX2. 900. 063SM

会 签

编写 \_\_\_\_\_

校对 \_\_\_\_\_

审核 \_\_\_\_\_

标审 \_\_\_\_\_

批准 \_\_\_\_\_

描 写

描 校

开拓导航控制技术股份有限公司

旧底图登记号

底图登记号

软盘编号	本使用说明书是KT-EX9-2多自由度惯性测量单元使用操作的主要依据文件。																																																																																																																																																									
CAD	本使用说明书主要依据《IMU50多自由度惯性测量单元技术协议》和《KTJT-001惯性测量单元和三轴陀螺组合技术条件》编写。																																																																																																																																																									
	<h2>1 产品功能和相关技术参数</h2> <h3>1.1 组成与功能</h3> <p>KT-EX9-2多自由度惯性测量单元是一款完整的惯性系统，内置一个三轴陀螺仪、一个三轴加速度计、一个三轴磁力计和一个压力传感器，用于测量载体的三轴角速率，加速度，三轴磁场，气压等参数，通过SPI或URAT按照通讯协议输出经过误差补偿（包括温度补偿、安装失准角补偿、非线性补偿等）的数据。</p> <h3>1.2 主要技术参数</h3>																																																																																																																																																									
	表 1-1 技术参数																																																																																																																																																									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>参数</th> <th>测试条件</th> <th>最小值</th> <th>典型值</th> <th>最大值</th> <th>单位</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="11">陀螺</td> <td>动态测量范围</td> <td>可配置（最大±1000）</td> <td>±300</td> <td>±450</td> <td>±1000</td> <td>°/s</td> </tr> <tr> <td>零偏不稳定性</td> <td>Allan 方差</td> <td></td> <td>5</td> <td></td> <td>°/h</td> </tr> <tr> <td>零偏稳定性</td> <td>10s 平滑, 1σ, 室温</td> <td></td> <td>10</td> <td></td> <td>°/h</td> </tr> <tr> <td>全温范围内零偏</td> <td>-40°C~85°C,10s 平滑, rms</td> <td></td> <td>0.03</td> <td></td> <td>°/s</td> </tr> <tr> <td>随机游走</td> <td>1σ</td> <td></td> <td>0.26</td> <td></td> <td>°/√h</td> </tr> <tr> <td>零偏重复性</td> <td></td> <td></td> <td>20</td> <td></td> <td>°/h</td> </tr> <tr> <td>输出噪声</td> <td>无滤波, rms</td> <td></td> <td>0.135</td> <td></td> <td>°/s</td> </tr> <tr> <td>标度因数重复性</td> <td>1σ</td> <td></td> <td>0.1</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>标度因数非线性</td> <td>FS=450 °/s</td> <td></td> <td>0.01</td> <td></td> <td>%FS</td> </tr> <tr> <td>带宽 (-3dB)</td> <td></td> <td></td> <td>330</td> <td></td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>交叉耦合</td> <td></td> <td></td> <td>0.2</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td rowspan="8">加速度计</td> <td>动态测量范围</td> <td>可配置（最大±40）</td> <td>±18</td> <td>±20</td> <td>±40</td> <td>g</td> </tr> <tr> <td>零偏稳定性</td> <td>Allan 方差</td> <td></td> <td>0.07</td> <td></td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>全温范围内零偏</td> <td></td> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>随机游走</td> <td>1σ</td> <td></td> <td>0.029</td> <td></td> <td>m/s/√h</td> </tr> <tr> <td>零偏重复性</td> <td></td> <td></td> <td>0.5</td> <td></td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>输出噪声</td> <td>无滤波, rms</td> <td></td> <td>1</td> <td></td> <td>mg</td> </tr> <tr> <td>标度因数重复性</td> <td>1σ</td> <td></td> <td>0.1</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>标度因数非线性</td> <td>FS=10g</td> <td></td> <td>0.1</td> <td></td> <td>%FS</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">磁力计</td> <td>带宽 (-3dB)</td> <td></td> <td></td> <td>330</td> <td></td> <td>Hz</td> </tr> <tr> <td>交叉耦合</td> <td></td> <td></td> <td>0.1</td> <td></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>动态测量范围</td> <td></td> <td></td> <td>±2.5</td> <td></td> <td>gauss</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0.1</td> <td>mgauss/LSB</td> </tr> </tbody> </table>						参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	陀螺	动态测量范围	可配置（最大±1000）	±300	±450	±1000	°/s	零偏不稳定性	Allan 方差		5		°/h	零偏稳定性	10s 平滑, 1σ, 室温		10		°/h	全温范围内零偏	-40°C~85°C,10s 平滑, rms		0.03		°/s	随机游走	1σ		0.26		°/√h	零偏重复性			20		°/h	输出噪声	无滤波, rms		0.135		°/s	标度因数重复性	1σ		0.1		%	标度因数非线性	FS=450 °/s		0.01		%FS	带宽 (-3dB)			330		Hz	交叉耦合			0.2		%	加速度计	动态测量范围	可配置（最大±40）	±18	±20	±40	g	零偏稳定性	Allan 方差		0.07		mg	全温范围内零偏			3		mg	随机游走	1σ		0.029		m/s/√h	零偏重复性			0.5		mg	输出噪声	无滤波, rms		1		mg	标度因数重复性	1σ		0.1		%	标度因数非线性	FS=10g		0.1		%FS	磁力计	带宽 (-3dB)			330		Hz	交叉耦合			0.1		%	动态测量范围			±2.5		gauss						0.1	mgauss/LSB
参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位																																																																																																																																																					
陀螺	动态测量范围	可配置（最大±1000）	±300	±450	±1000	°/s																																																																																																																																																				
	零偏不稳定性	Allan 方差		5		°/h																																																																																																																																																				
	零偏稳定性	10s 平滑, 1σ, 室温		10		°/h																																																																																																																																																				
	全温范围内零偏	-40°C~85°C,10s 平滑, rms		0.03		°/s																																																																																																																																																				
	随机游走	1σ		0.26		°/√h																																																																																																																																																				
	零偏重复性			20		°/h																																																																																																																																																				
	输出噪声	无滤波, rms		0.135		°/s																																																																																																																																																				
	标度因数重复性	1σ		0.1		%																																																																																																																																																				
	标度因数非线性	FS=450 °/s		0.01		%FS																																																																																																																																																				
	带宽 (-3dB)			330		Hz																																																																																																																																																				
	交叉耦合			0.2		%																																																																																																																																																				
加速度计	动态测量范围	可配置（最大±40）	±18	±20	±40	g																																																																																																																																																				
	零偏稳定性	Allan 方差		0.07		mg																																																																																																																																																				
	全温范围内零偏			3		mg																																																																																																																																																				
	随机游走	1σ		0.029		m/s/√h																																																																																																																																																				
	零偏重复性			0.5		mg																																																																																																																																																				
	输出噪声	无滤波, rms		1		mg																																																																																																																																																				
	标度因数重复性	1σ		0.1		%																																																																																																																																																				
	标度因数非线性	FS=10g		0.1		%FS																																																																																																																																																				
磁力计	带宽 (-3dB)			330		Hz																																																																																																																																																				
	交叉耦合			0.1		%																																																																																																																																																				
	动态测量范围			±2.5		gauss																																																																																																																																																				
					0.1	mgauss/LSB																																																																																																																																																				
描 图																																																																																																																																																										
描 校																																																																																																																																																										
旧底图登记号																																																																																																																																																										
底图登记号			KT-EX9-2		EX2.900.063SM																																																																																																																																																					
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 2 页																																																																																																																																																							

软盘编号							
	参数	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位	
CAD	气压计	非线性度		0.5		%FS	
		压力范围	300		1100	mbar	
		灵敏度		$6.1 \times 10^{-7}$		mbar/LSB	
		总误差		4.5		mbar	
		相对误差		2.5		mbar	
		非线性度		0.1		%FS	
	通讯接口	1 路 SPI	输入时钟频率		15	MHz	
		1 路 UART	波特率	9.6	614.4	921.6	kbps
	电气特性	电压	直流		3.3 (或 5) $\pm$ 10%	V	
		功耗		0.6	1	W	
		纹波	P-P		100	mV	
		重量		48 $\pm$ 2		g	
	使用环境	工作温度	可扩展	-40	85	$^{\circ}$ C	
		存储温度		-55	85	$^{\circ}$ C	
		振动			10~2000Hz, 6.06g		
		冲击			5000g, 0.1ms		

## 2 结构特征与电气连接

KT-EX9-2 多自由度惯性测量单元的外形图如图 2-1 所示。

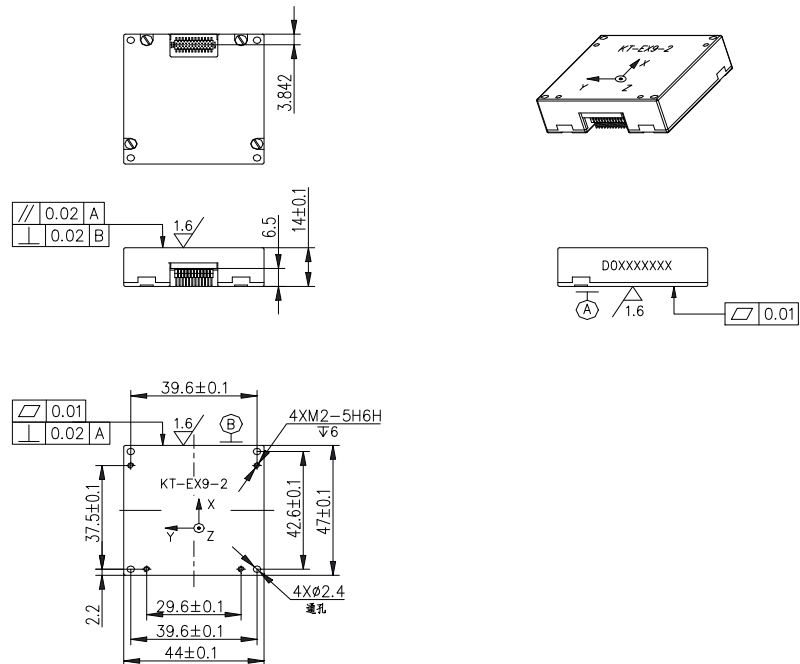


图 2-1 产品外形图

图中“KT-EX9-2”为产品代号”，“D0XXXXXXXX”为产品编号。

产品通过 4 个 $\Phi$ 2.4 的通孔安装，采用 4 个 M2 螺钉（加弹垫、平垫）进行安

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期		共 19 页 第 3 页	

软盘编号

CAD

装。接插件安装时，插头应与插座对接紧。图中Ⓐ、Ⓑ为安装基准面。

建议与基准面相对的安装面平面度不大于 0.02mm，垂直度不大于 0.04mm，表面粗糙度不大于 0.8μm。

产品与外部连接的接插件型号为 FTMH-112-02-H-DH，与产品对接接插件为 Samtec P/N CLM-112-02-G-D-A。产品接点配置图见 2-,2，接点定义见表 2-1。

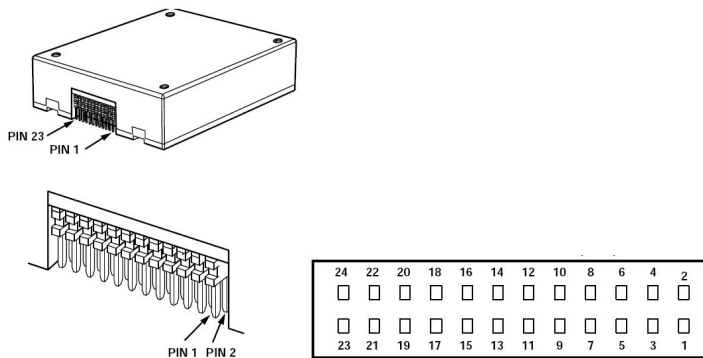


图 2-2 产品接点配置图

表 2-1 产品节点分配

管脚序号	名称	类型	描述
10, 11, 12	VDD	电源	
13, 14, 15	GND	电源	
7	DIO1	输入/输出	通用 IO, 可配置
9	DIO2	输入/输出	
1	DIO3	输入/输出	
2	DIO4	输入/输出	
3	SPI-CLK	输入/输出	SPI 从模式
4	SPI-MISO	输入/输出	
5	SPI-MOSI	输入/输出	
6	SPI-/CS	输入/输出	
19	UART-TXD	输出	UART, 波特率可配置, 默认为 614400bps
21	UART-RXD	输入	
18	CAN-T	输出	CAN 协议, TTL (+3.3V) 电平
20	CAN-R	输入	
8	RST	输入	复位
23	VDDRTC	电源	
其它	NC	备用	厂家保留

描 图

描 校

### 3 空间坐标系

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 4 页		

### 3.1 右手定则原则一

产品内含三个轴向的空间坐标系，即 X、Y 和 Z，如图 3-1。

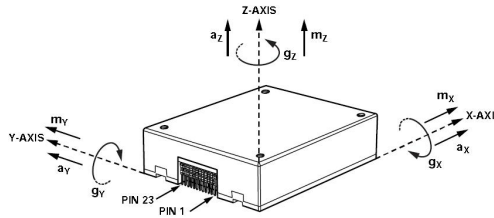


图 3-1 产品空间坐标系

产品的安装要与坐标系的轴向匹配，否则测的角速度数据不准确。遵循‘右手定则原则一’，可以快速的分配并确定坐标系的轴向。伸出右手，分别展开拇指、食指和中指，拇指指的方向是 X 轴向，食指指的方向是 Y 轴向，中指指的方向是 Z 轴向，如图 3-2。

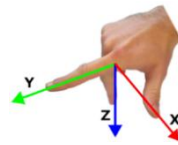


图 3-2 右手定则原则一

### 3.2 右手定则原则二

惯组中的三个自由度陀螺仪可测三个方向的角速度。遵循‘右手定则原则二’，可以快速的确定坐标轴轴向旋转的角速度方向。伸出右手，展开拇指，拇指指的方向是轴向，其它四指弯曲指向的方向就是拇指指的轴向旋转的角速度方向，如图 3-3。



图 3-3 右手定则原则二

## 4 通讯接口

### 4.1 SPI 通讯

IMU 的通信采用 4 线 SPI 标准接口，产品内部数据刷新频率最大 2.4KHz，通信波特率最大 15Mbps。

#### 4.1.1 时序规格

除非另有说明，TC = 25°C，VDD = 3.3 V。

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 5 页		

软盘编号

表 4-1 产品时序要求

参数	说明	正常模式			单位
		最小值	典型值	最大值	
$f_{SCLK}$	串行时钟	0.01		15	MHz
$t_{STALL}$	数据之间的停转周期	2			$\mu s$
$t_{CLS}$	串行时钟低电平周期	31			ns
$t_{CHS}$	串行时钟高电平周期	31			ns
$t_{CS}$	片选至时钟边沿	32			ns
$t_{DAV}$	SCLK 边沿之后的 DOUT 有效时间			10	ns
$t_{DSU}$	SCLK 上升沿之前的 DIN 建立时间	2			ns
$t_{DHD}$	SCLK 上升沿之后的 DIN 保持时间	2			ns
$t_{DR}, t_{DF}$	DOUT 上升/下降时间, 负载 100 pF		3	8	ns
$t_{DSOE}$	CS 置位至数据输出有效	0		11	ns
$t_{HD}$	SCLK 边沿至数据输出无效	0			ns
$t_{SFS}$	上一个 SCLK 边沿至 CS 解除置位	32			ns
$t_{DSHI}$	CS 解除置位至数据输出高阻态	0		9	ns

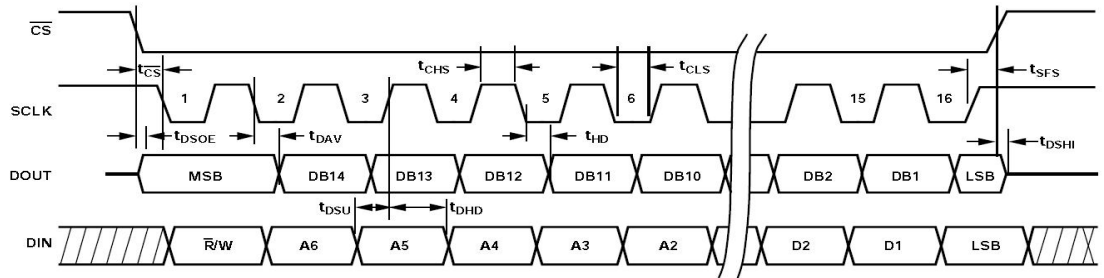


图 4-1 时序图

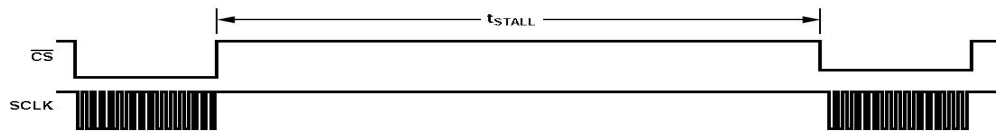


图 4-2 停转时间和数据速率

### 4.1.2 数据寄存器地址映射

用户寄存器存储器映射数据定义见表 4-2。

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期		共 19 页 第 6 页	

软盘编号

表 4-2 用户寄存器存储器映射数据

名称	R/W	PAGE_ID	地址	默认	寄存器描述
PAGE_ID	R/W	0x00	0x00	0x00	页面标识
TEMP_OUT	R	0x00	0x0E	N/A	温度
X_GYRO_LOW	R	0x00	0x10	N/A	x 轴陀螺仪输出, 低位字
X_GYRO_OUT	R	0x00	0x12	N/A	x 轴陀螺仪输出, 高位字
Y_GYRO_LOW	R	0x00	0x14	N/A	y 轴陀螺仪输出, 低位字
Y_GYRO_OUT	R	0x00	0x16	N/A	y 轴陀螺仪输出, 高位字
Z_GYRO_LOW	R	0x00	0x18	N/A	z 轴陀螺仪输出, 低位字
Z_GYRO_OUT	R	0x00	0x1A	N/A	z 轴陀螺仪输出, 高位字
X_ACCL_LOW	R	0x00	0x1C	N/A	x 轴加速度计输出, 低位字
X_ACCL_OUT	R	0x00	0x1E	N/A	x 轴加速度计输出, 高位字
Y_ACCL_LOW	R	0x00	0x20	N/A	y 轴加速度计输出, 低位字
Y_ACCL_OUT	R	0x00	0x22	N/A	y 轴加速度计输出, 高位字
Z_ACCL_LOW	R	0x00	0x24	N/A	z 轴加速度计输出, 低位字
Z_ACCL_OUT	R	0x00	0x26	N/A	z 轴加速度计输出, 高位字
X_MAGN_OUT	R	0x00	0x28	N/A	x 轴磁力计输出, 高位字
Y_MAGN_OUT	R	0x00	0x2A	N/A	y 轴磁力计输出, 高位字
Z_MAGN_OUT	R	0x00	0x2C	N/A	z 轴磁力计输出, 高位字
BAROM_LOW	R	0x00	0x2E	N/A	气压计输出, 低位字
BAROM_OUT	R	0x00	0x30	N/A	气压计输出, 高位字

### 4.1.3 SPI 通讯及配置

单个寄存器读操作需要两个 16 位 SPI 周期。在第一个周期中, 利用图 4-3 中的位分配功能请求读取一个寄存器的内容; 在第二个周期中, 寄存器内容通过 DOUT 输出。DIN 命令的第一位是 0, 然后是寄存器的高位或低位地址。后 8 位是无关位, 但 SPI 需要完整的 16 个 SCLK 来接收请求。图 5 显示了两个连续的寄存器读操作, 首先是 DIN = 0x1A00, 请求 Z\_GYRO\_OUT 寄存器的内容, 然后是 DIN = 0x1800, 请求 Z\_GYRO\_LOW 寄存器的内容。

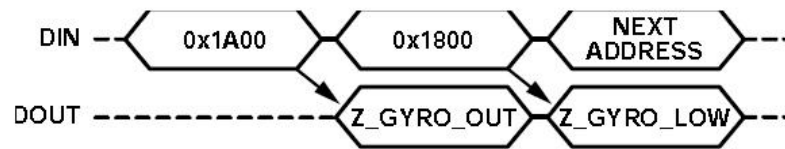


图 4-3 SPI 读操作示例

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 7 页		

## 4.2 UART 通讯

### 4.2.1 数据通讯协议

串口通讯协议为 1 位起始位, 8 位数据位, 1 位停止位, 无奇偶校验, 波特率: 在 9600~614400bps 间可选(默认 614400)。

### 4.2.2 数据帧组成格式

本文规定的数据帧格式, 具体内容如下。

表 4-3 数据帧通用格式

帧头	命令字	数据长度	数据内容	校验
0x5A, 0x5A	1 字节	1 字节	N 个字节	1 字节

命令字: 1 字节, 范围 0x00~0xFF;

数据长度: 1 字节, 数据内容的长度, 范围 0~250;

数据内容: 数据内容为指令中的有效数据, 长度由数据长度规定;

异或校验: 帧头、命令字、数据长度、数据内容所有字节的异或和。

### 4.2.3 数据指令

#### 4.2.3.1 获取数据指令 (1-400Hz)

该指令为响应式指令, 由上位机向产品发出, 产品正确接收后, 返回数据, 命令见表 4-4。

表 4-4 获取数据指令

数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注
帧头	0	0x5a			
	1	0x5a			
命令字	2	0x02			
数据长度	3	0x00			
数据内容		无			
帧尾	4	校验和			0 至 3 字节异或和

示例: 向产品发送获取数据指令:



软盘编号																																														
	【0x5a】【0x5a】【0x02】【0x00】【0x02】。																																													
CAD	产品收到后返回数据，格式内容见 3.2.3.4 内容。																																													
	4.2.3.2 获取状态指令																																													
	该指令为响应式指令，由上位机向产品发出，产品正确接收后，送回当前状态，命令格式见表 4-5。																																													
	表 4-5 获取状态指令																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>数据帧</th> <th>字节序号</th> <th>数据</th> <th>单位</th> <th>数据类型</th> <th>备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">帧头</td> <td>0</td> <td>0x5a</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0x5a</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>命令字</td> <td>2</td> <td>0x03</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>数据长度</td> <td>3</td> <td>0x00</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>数据内容</td> <td></td> <td>无</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>帧尾</td> <td>4</td> <td>校验和</td> <td></td> <td></td> <td>0 至 3 字节异或和</td> </tr> </tbody> </table>					数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注	帧头	0	0x5a				1	0x5a				命令字	2	0x03				数据长度	3	0x00				数据内容		无				帧尾	4	校验和			0 至 3 字节异或和
数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注																																									
帧头	0	0x5a																																												
	1	0x5a																																												
命令字	2	0x03																																												
数据长度	3	0x00																																												
数据内容		无																																												
帧尾	4	校验和			0 至 3 字节异或和																																									
	示例：向 IMU50 发送获取状态指令：																																													
	【0x5a】【0x5a】【0x03】【0x00】【0x03】。																																													
	产品收到后返回当前状态，格式内容见 4.2.3.5 内容。																																													
	4.2.3.3 波特率设置																																													
	该指令由上位机向产品发出，产品立即响应是否接收准确，命令格式见表 4-6。																																													
	表 4-6 波特率设置指令																																													
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>数据帧</th> <th>字节序号</th> <th>数据</th> <th>单位</th> <th>数据类型</th> <th>备注</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">帧头</td> <td>0</td> <td>0x5a</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0x5a</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>命令字</td> <td>2</td> <td>0x06</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>数据长度</td> <td>3</td> <td>0x01</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>数据内容</td> <td>4</td> <td>0x00: 9600 bps 0x01: 19200 bps 0x02: 38400 bps 0x03: 57600 bps</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注	帧头	0	0x5a				1	0x5a				命令字	2	0x06				数据长度	3	0x01				数据内容	4	0x00: 9600 bps 0x01: 19200 bps 0x02: 38400 bps 0x03: 57600 bps									
数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注																																									
帧头	0	0x5a																																												
	1	0x5a																																												
命令字	2	0x06																																												
数据长度	3	0x01																																												
数据内容	4	0x00: 9600 bps 0x01: 19200 bps 0x02: 38400 bps 0x03: 57600 bps																																												
描 图																																														
描 校																																														
旧底图登记号																																														
底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM																																									
标 记	更 改 单 号	签 字、日 期	共 19 页 第 9 页																																											



软盘编号					
	36~37	气压计	mbar	short	LSB: 0.04mbar
CAD	38~39	X 轴磁力计	mgauss	short	LSB: 0.1mgauss
	40~41	Y 轴磁力计	mgauss	short	LSB: 0.1mgauss
	42~43	Z 轴磁力计	mgauss	short	LSB: 0.1mgauss
帧尾	44	校验			异或和

4.2.3.5 状态信息输出

该指令由产品向上位机发出，是在上位机发送获取状态请求后的回应，命令格式见表 4-8。

表 4-8 状态信息输出指令

数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注
帧头	0	0x5a			
	1	0x5a			
命令字	2	0x03			
数据长度	3	0x0c			
	4~7	标识号		int	
	8~9	杆臂尺寸 X	0.1m	Short	0.1m
	10~11	杆臂尺寸 Y	0.1m	Short	0.1m
	12~13	杆臂尺寸 Z	0.1m	Short	0.1m
	14	状态指示位 Bit0: 0 航向角装订成功, 1 航向角装订失败 Bit1: 0 俯仰角装订成功, 1 俯仰角装订失败 Bit2: 0 横滚角装订成功, 1 横滚角装订失败 Bit3: 0 X 杆臂装订成功, 1X 杆臂装订失败 Bit4: 0 Y 杆臂装订成功, 1Y 杆臂装订失败 Bit5: 0 Z 杆臂装订成功, 1Z 杆臂装订失败 Bit6: 0 当前磁校准成功, 1 当前磁校准失败 Bit7: 保留			
故障码	15	1: 故障; 0: 正常			

描 图				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
描 校					
旧底图登记号					
底图登记号					
标 记	更 改 单 号	签 字、日 期	共 19 页 第 11 页		

软盘编号

帧尾

16

校验

异或和

CAD

### 4.2.3.6 波特率设置响应指令

产品接收上位机的波特率设置指令后，立即返回响应指令，详见表 4-9。

表 4-9 波特率设置响应指令

数据帧	字节序号	数据	单位	数据类型	备注
帧头	0	0x5a			
	1	0x5a			
命令字	2	0x06			
数据长度	3	0x01			
数据内容	4	0x00: 9600 bps 0x01: 19200 bps 0x02: 38400 bps 0x03: 57600 bps 0x04: 115200 bps 0x05: 230400 bps 0x06: 460800 bps 0x07: 614400 bps			
帧尾	5	校验和			0 至 4 字节异或和

产品发送返回指令后，新的波特率立即生效，并将该配置写入 Flash 中，下次产品重新加电即为当前配置波特率。

## 5 SPI 数据寄存器

KT-EX9-2 启动过程后，PAGE\_ID 寄存器值为 0x0000，将第 0 页设置为 SPI 访问的有效页面。第 0 页包括输出数据、产品标识寄存器。

### 5.1 惯性传感器数据格式

陀螺仪、加速度计、角度变化、速度变化和气压计的输出数据寄存器使用 32 位二进制补码格式。每个输出使用两个寄存器来支持这一分辨率。图 5-1 通过示例说明各寄存器在各种惯性测量中的作用。本例中，X\_GYRO\_OUT 是最高有效字(高 16 位)，X\_GYRO\_LOW 是最低有效字(低 16 位)。许多情况下，仅使用最高有效字寄存器就能提供足够的分辨率来反映关键性能指标。

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号

KT-EX9-2

EX2.900.063SM

标 记

更 改 单 号

签 字、日 期

共 19 页 第 12 页

软盘编号

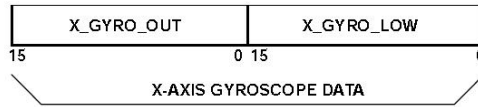


图 5-1 陀螺数据输出示例

## 5.2 陀螺仪

用于陀螺仪测量的主寄存器使用 X\_GYRO\_OUT 格式(参见表 5-1、表 5-2 和表 5-3)。处理这些寄存器的数据时,使用 16 位二进制补码数据格式。表 5-4 给出了 X\_GYRO\_OUT 数字编码示例。

表 5-1 X\_GYRO\_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x12)

位	说明
[15:0]	X 轴陀螺仪数据: 二进制补码, $\pm 450^\circ$ /秒范围, $0^\circ$ /秒 = 0x0000, 1 LSB = $0.02^\circ$ /秒

表 5-2 Y\_GYRO\_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x16)

位	说明
[15:0]	Y 轴陀螺仪数据: 二进制补码, $\pm 450^\circ$ /秒范围, $0^\circ$ /秒 = 0x0000, 1 LSB = $0.02^\circ$ /秒

表 5-3 Z\_GYRO\_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x1A)

位	说明
[15:0]	Z 轴陀螺仪数据: 二进制补码, $\pm 450^\circ$ /秒范围, $0^\circ$ /秒 = 0x0000, 1 LSB = $0.02^\circ$ /秒

表 5-4 X\_GYRO\_OUT 数据格式示例

旋转速率	十进制	十六进制	二进制
+450° /sec	+22,500	0x57E4	0101 0111 1110 0100
+0.04/sec	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+0.02° /sec	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
0° /sec	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
-0.02° /sec	-1	0xFFFF 0xFFFE	1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1110
-0.04° /sec	-2	0xA81C	1010 1000 0001 1100
-450° /sec	-22,500		

描 图

使用 X\_GYRO\_LOW 命名格式的寄存器用于提高陀螺仪测量的分辨率(参见表 5-5、表 5-6 和表 5-7)。MSB 的权重为  $0.01^\circ$  /秒, 后续各位的权重为前一位的 $\frac{1}{2}$ 。

表 5-5 X\_GYRO\_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x10)

描 校

旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 13 页		

软盘编号				
	位	说明		
CAD	[15:0]	X 轴陀螺仪数据；附加分辨率位		
	表 5-6 Y_GYRO_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x14)			
	位	说明		
	[15:0]	Y 轴陀螺仪数据；附加分辨率位		
	表 5-7 Z_GYRO_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x18)			
	位	说明		
	[15:0]	Z 轴陀螺仪数据；附加分辨率位		
	<h3>5.3 加速度计</h3> <p>用于加速度计测量的主寄存器使用 X_ACCL_OUT 格式(参见表 5-8、表 5-9 和表 5-10)。处理这些寄存器的数据时, 使用 16 位二进制补码数据格式。表 5-11 给出了 X_ACCL_OUT 数字编码示例。</p>			
	表 5-8 X_ACCL_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x1E)			
	位	说明		
	[15:0]	X 轴加速度计数据；二进制补码, ±18 g 范围, 0 g = 0x0000, 1 LSB = 0.8 mg		
	表 5-9 Y_ACCL_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x22)			
	位	说明		
	[15:0]	Y 轴加速度计数据；二进制补码, ±18 g 范围, 0 g = 0x0000, 1 LSB = 0.8 mg		
	表 5-10 Z_ACCL_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x26)			
	位	说明		
	[15:0]	Z 轴加速度计数据；二进制补码, ±18 g 范围, 0 g = 0x0000, 1 LSB = 0.8 mg		
	表 5-11 X_ACCL_OUT 数据格式示例			
	加速度	十进制	十六进制	二进制
	+18g	+22,500	0x57E4	0101 0111 1110 0100
	+1.6mg	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
	+0.8mg	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
	0 mg	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
	-0.8mg	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
	-1.6mg	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110
			0xA81C	1010 1000 0001 1100
描 图				
描 校				
旧底图登记号				
底图登记号				KT-EX9-2
				EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 14 页	

软盘编号	<table border="1"> <tr> <td>-18g</td> <td>-22,500</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>			-18g	-22,500																						
-18g	-22,500																										
CAD																											
	<p>使用 X_ACCL_LOW 命名格式的寄存器用于提高加速度计测量的分辨率(参见表 5-12、表 5-13 和表 5-14)。MSB 的权重为 0.4 mg，后续各位的权重为前一位的1/2。</p> <p style="text-align: center;">表 5-12 X_ACCL_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x1C)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>X 轴加速度计数据; 附加分辨率位</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-13 Y_ACCL_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x20)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>X 轴加速度计数据; 附加分辨率位</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-14 Z_ACCL_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x24)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>X 轴加速度计数据; 附加分辨率位</td> </tr> </table>			位	说明	[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位	位	说明	[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位	位	说明	[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位												
位	说明																										
[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位																										
位	说明																										
[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位																										
位	说明																										
[15:0]	X 轴加速度计数据; 附加分辨率位																										
	<h3>5.4 磁力计</h3> <p>用于磁力计测量的主寄存器使用 X_MAGN_OUT 格式。处理这些寄存器的数据时，使用 16 位二进制补码数据格式。表 5-15、表 5-16 和表 5-17 给出了各寄存器的数字格式，表 5-18 给出了 X_MAGN_OUT 数字编码示例。</p> <p style="text-align: center;">表 5-15 X_MAGN_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x28)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>X 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-16 Y_MAGN_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x2A)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>Y 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-17 Z_MAGN_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x2C)</p> <table border="1"> <tr> <td>位</td> <td>说明</td> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>Z 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-18 X_MAGN_OUT 数据格式示例</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>磁 场</th> <th>十进制</th> <th>十六进制</th> <th>二进制</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+3.2767 gauss</td> <td>+32767</td> <td>0x7FFF</td> <td>0111 1111 1111 1111</td> </tr> <tr> <td>+0.2 mgauss</td> <td>+2</td> <td>0x0002</td> <td>0000 0000 0000 0010</td> </tr> </tbody> </table>			位	说明	[15:0]	X 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss	位	说明	[15:0]	Y 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss	位	说明	[15:0]	Z 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss	磁 场	十进制	十六进制	二进制	+3.2767 gauss	+32767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111	+0.2 mgauss	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
位	说明																										
[15:0]	X 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss																										
位	说明																										
[15:0]	Y 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss																										
位	说明																										
[15:0]	Z 轴磁力计数据; 二进制补码, ±3.2767 gauss 范围, 0 gauss = 0x0000, 1 LSB = 0.1 mgauss																										
磁 场	十进制	十六进制	二进制																								
+3.2767 gauss	+32767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111																								
+0.2 mgauss	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010																								
描 图																											
描 校																											
旧底图登记号																											
底图登记号			KT-EX9-2																								
			EX2.900.063SM																								
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 15 页																								

软盘编号																																										
CAD	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">+0.1 mgauss</td> <td style="width: 15%;">+1</td> <td style="width: 20%;">0x0001</td> <td style="width: 40%;">0000 0000 0000 0001</td> </tr> <tr> <td>0 gauss</td> <td>0</td> <td>0x0000</td> <td>0000 0000 0000 0000</td> </tr> <tr> <td>-0.1 mgauss</td> <td>-1</td> <td>0xFFFF</td> <td>1111 1111 1111 1111</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>0xFFFE</td> <td>1111 1111 1111 1110</td> </tr> <tr> <td>-0.2 mgauss</td> <td>-2</td> <td>0x8000</td> <td>1000 0000 0000 0000</td> </tr> <tr> <td>- 3.2768 gauss</td> <td>-32768</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				+0.1 mgauss	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001	0 gauss	0	0x0000	0000 0000 0000 0000	-0.1 mgauss	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111			0xFFFE	1111 1111 1111 1110	-0.2 mgauss	-2	0x8000	1000 0000 0000 0000	- 3.2768 gauss	-32768																
+0.1 mgauss	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001																																							
0 gauss	0	0x0000	0000 0000 0000 0000																																							
-0.1 mgauss	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111																																							
		0xFFFE	1111 1111 1111 1110																																							
-0.2 mgauss	-2	0x8000	1000 0000 0000 0000																																							
- 3.2768 gauss	-32768																																									
	<h3 style="text-align: center;">5.5 气压计</h3> <p>BAROM_OUT 寄存器(参见表 5-19)和 BAROM_LOW 寄存器(参见表 5-20)用于访问气压数据。这两个寄存器共同构成 32 位二进制补码格式。某些应用可以只使用 BAROM_OUT。如果需要 BAROM_LOW 所提供的更高分辨率,二者的合并方式与陀螺仪相同。处理仅来自 BAROM_OUT 寄存器的数据时,使用 16 位二进制补码数据格式。表 5-21 提供了 BAROM_OUT 的数字格式,表 5-21 给出了数字编码示例。</p> <p style="text-align: center;">表 5-19 BAROM_OUT(第 0 页, 基地址 = 0x30)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 20%;">位</th> <th>说明</th> </tr> <tr> <td>[15:0]</td> <td>气压; 二进制补码, <math>\pm 1.31</math> bar 范围, 0 bar = 0x0000, 40 <math>\mu</math> bar/LSB</td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">表 5-20 BAROM_OUT 数据格式示例</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">气压 (bar)</th> <th style="width: 15%;">十进制</th> <th style="width: 15%;">十六进制</th> <th style="width: 40%;">二进制</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>+0.00004 \times (2^{15} - 1)</math></td> <td>+32767</td> <td>0x7FFF</td> <td>0111 1111 1111 1111</td> </tr> <tr> <td>+0.00008</td> <td>+2</td> <td>0x0002</td> <td>0000 0000 0000 0010</td> </tr> <tr> <td>+0.00004</td> <td>+1</td> <td>0x0001</td> <td>0000 0000 0000 0001</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0x0000</td> <td>0000 0000 0000 0000</td> </tr> <tr> <td>-0.00004</td> <td>-1</td> <td>0xFFFF</td> <td>1111 1111 1111 1111</td> </tr> <tr> <td>-0.00008</td> <td>-2</td> <td>0xFFFE</td> <td>1111 1111 1111 1110</td> </tr> <tr> <td><math>-0.00004 \times (2^{15} - 1)</math></td> <td>-32768</td> <td>0x8000</td> <td>1000 0000 0000 0000</td> </tr> </tbody> </table> <p>BAROM_LOW 寄存器用于提高气压测量的分辨率。MSB 的权重为 20 <math>\mu</math> bar, 后续各位的权重为前一位的<math>\frac{1}{2}</math>。</p> <p style="text-align: center;">表 5-21 BAROM_LOW(第 0 页, 基地址 = 0x2E)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="width: 20%;">位</th> <th>说明</th> </tr> </table>				位	说明	[15:0]	气压; 二进制补码, $\pm 1.31$ bar 范围, 0 bar = 0x0000, 40 $\mu$ bar/LSB	气压 (bar)	十进制	十六进制	二进制	$+0.00004 \times (2^{15} - 1)$	+32767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111	+0.00008	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010	+0.00004	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001	0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000	-0.00004	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111	-0.00008	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110	$-0.00004 \times (2^{15} - 1)$	-32768	0x8000	1000 0000 0000 0000	位	说明
位	说明																																									
[15:0]	气压; 二进制补码, $\pm 1.31$ bar 范围, 0 bar = 0x0000, 40 $\mu$ bar/LSB																																									
气压 (bar)	十进制	十六进制	二进制																																							
$+0.00004 \times (2^{15} - 1)$	+32767	0x7FFF	0111 1111 1111 1111																																							
+0.00008	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010																																							
+0.00004	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001																																							
0	0	0x0000	0000 0000 0000 0000																																							
-0.00004	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111																																							
-0.00008	-2	0xFFFE	1111 1111 1111 1110																																							
$-0.00004 \times (2^{15} - 1)$	-32768	0x8000	1000 0000 0000 0000																																							
位	说明																																									
描 图																																										
描 校																																										
旧底图登记号																																										
底图登记号	KT-EX9-2			EX2.900.063SM																																						
标记	更改单号	签字、日期	共 19 页 第 16 页																																							



软盘编号

[15:0]

气压：附加分辨率位

CAD

### 5.6 内部温度

TEMP\_OUT 寄存器提供内部温度测量结果，用于观察产品内部的相对温度变化（见表 5-22）。表 5-23 给出了 TEMP\_OUT 数字编码示例。注意，由于自热效应，此温度高于环境温度。

表 5-22 TEMP\_OUT (第 0 页，基地址 = 0x0E) 位

位	说明
[15:0]	温度数据；二进制补码，0.00565° C/LSB，25° C = 0x0000

表 5-23 TEMP\_OUT 数据格式示例

温度	十进制	十六进制	二进制
+85	+10,619	0x297B	0010 1001 0111 1011
+25 + 0.0113	+2	0x0002	0000 0000 0000 0010
+25 + 0.00565	+1	0x0001	0000 0000 0000 0001
+25	0	0x0000	0000 0000 0000 0000
+25 - 0.00565	-1	0xFFFF	1111 1111 1111 1111
		0xFFFE	1111 1111 1111 1110
+25 - 0.0113	-2	0xD310	1101 0011 0001 0000
-40	-11504		

## 6 功能性测试

### 6.1 接线方法

若用户通过SPI端口访问数据，连接图参见图6-1。

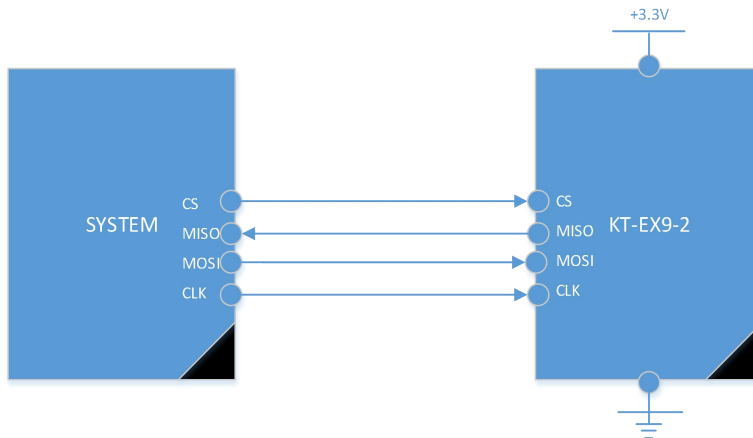


图 6-1

若用户通过UART端口可访问该数据，连接图参见图 6-2。

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号

KT-EX9-2

EX2.900.063SM

标 记

更 改 单 号

签 字、日 期

共 19 页 第 17 页

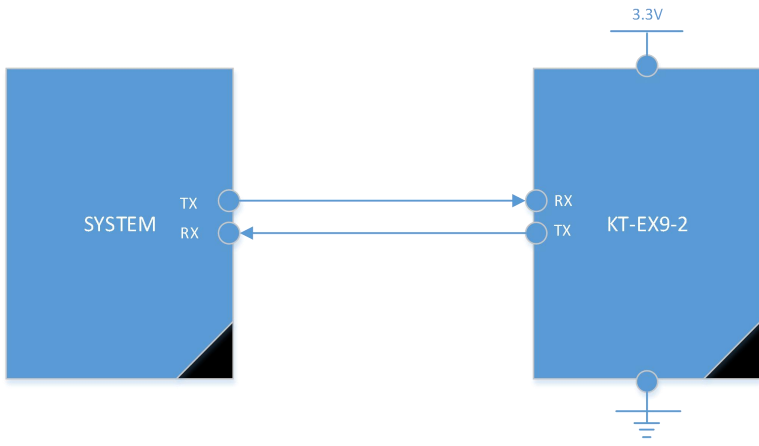
软盘编号					
CAD					

图 6-2

## 6.2 功能性测试

外部 MCU 通过 SPI 读取 KT-EX9-2 多自由度惯性测量单元的各寄存器数据，按照相应的方法计算出陀螺、加速度计、磁场、气压的参数，通过各项数据对产品的功能进行验证测试。

## 7 安装及调整

KT-EX9-2 三轴陀螺组合通过 4 个Φ2.4 的通孔安装，采用螺钉进行安装。接插件安装时，插头应与插座各管脚对应好，产品通过螺丝固定好。

建议与基准面相对的安装面平面度不大于 0.02mm，垂直度不大于 0.04mm，表面粗糙度不大于 0.8μm。

## 8 使用维护要求

使用前，必须检查系统安装位置，保证安装正确。仔细检查各信号线的连接，保证连接正确。

加电前，应对电缆网接点、电源的数值进行检查，电源极性禁止反接。

使用中，系统机械地应保证良好接地。

本产品内含精密仪器，禁止磕碰跌落。

本产品应存放在温度为（15~35）℃，相对湿度不大于 75%，且无酸碱无腐蚀性气体并通风良好的库房中。

描 图
描 校
旧底图登记号

底图登记号				KT-EX9-2	EX2.900.063SM
标记	更改单号	签字、日期		共 19 页 第 18 页	

软盘编号

CAD

### 附录 A 装箱清单

KT-EX9-2 产品配套表

序号	名称	数量	单位	备注
1	KT-EX9-2 产品	1	台	
2	产品合格证	1	份	
3	使用说明书	1	份	
4	装箱清单	1	份	
5	产品包装箱	1	个	

### 附录 B 产品命名规则

产品型谱按照标准化要求设计，KT 代表开拓公司，EX 代表英文开拓进取（Exploit）的意思，后续的数字代表系列化。具体产品型谱命名规则如下：

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号

KT-EX9-2

EX2.900.063SM

标 记

更 改 单 号

签 字、日 期

共 19 页 第 19 页

软盘编号

CAD

# KT - EX 2 - 1y - XX

产品前缀

KT = 开拓公司

产品标准代号

EX = EXploit (开拓)

产品系列

- 1 = 单轴陀螺
- 2 = 双轴陀螺组合
- 3 = 三轴陀螺组合
- 6 = 六自由度惯组
- 8 = 组合导航系统
- 9 = 配其他传感器的惯组
- 10 = 卫星导航接收机

产品状态号

每个状态号代表一种技术状态: 测量范围、带宽、敏感轴向等。此时, 关键硬件平台不变。具体见产品规划。产品状态号可以没有。

产品顺序号

1、2、.....: 基本型  
y=A、B、C、D: 增强型  
增强型为关键硬件变化或性能指标提升, 如扩展温度范围、接口形式、指标更高等。

描 图

描 校

旧底图登记号

底图登记号

KT-EX9-2

EX2.900.063SM

标 记

更 改 单 号

签 字、日 期